

Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта

Designing, construction and operation of pipeline transport system

2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ
(технические науки)

УДК 681.518.5

DOI: 10.31660/0445-0108-2022-2-61-74

Автоматизация мониторинга состояния эксплуатации опасных производственных объектов газотранспортной системы

И. Н. Квасов¹, Н. А. Лучкин¹, М. Ю. Земенкова^{2*}

¹Омский государственный технический университет, Омск, Россия

²Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

*zemenkovamj@tyuiu.ru

Аннотация. Выполнена комплексная систематизация особенностей процесса контроля безопасности, потенциальных факторов угроз, автоматизации мониторинга состояния эксплуатации опасных производственных объектов газотранспортной системы в соответствии с основными потенциально опасными техногенными воздействиями на окружающую среду. Разработаны методологическое, алгоритмическое и программное обеспечение по обеспечению организационных и технических мер экологической и промышленной безопасности в соответствии с современными требованиями к мониторингу состояния объектов и идентификации нештатных ситуаций.

Работа посвящена одной из важнейших современных задач обеспечения — созданию системы автоматизированного мониторинга эксплуатации состояния систем ОПО как современного инструмента управления промышленной безопасностью при эксплуатации техногенных объектов предприятий ТЭК. Нами предложены механизмы контроля и снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на ОПО, обоснованы алгоритмы и положения для создания массива «больших данных» и современных систем информационного обеспечения анализа риска возникновения аварий, а также предупреждения и ликвидации ЧС.

Ключевые слова: автоматизированный мониторинг, опасный производственный объект, промышленная безопасность, газотранспортная система

Для цитирования: Квасов, И. Н. Автоматизация мониторинга состояния эксплуатации опасных производственных объектов газотранспортной системы / И. Н. Квасов, Н. А. Лучкин, М. Ю. Земенкова. — DOI 10.31660/0445-0108-2022-2-61-74 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2022. — № 2. — С. 61–74.

Automation for monitoring the operating state of hazardous production facilities of the gas transportation system

Igor N. Kvasov¹, Nikolay A. Luchkin¹, Maria Yu. Zemenkova^{2*}

¹Omsk State Technical University, Omsk, Russia

²Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

*zemenkovamj@tyuiu.ru

Abstract. A comprehensive systematization of the features of the safety control process, potential threat factors, automation of monitoring the state of operation of hazardous production facilities of the gas transmission system, in accordance with the main potentially hazardous man-made impacts on the environment, has been carried out. Methodological, algorithmic and software were developed to ensure organizational and technical measures for environmental and industrial safety in accordance with modern requirements for monitoring the state of facilities and identifying emergency situations.

The article is devoted to the creation of a system for automated monitoring of the operation of the state of HPF systems as a modern tool for industrial safety management during the operation of man-made facilities at enterprises of the fuel and energy complex. It is one of the most important modern problems of support. We have proposed mechanisms to control and reduce the risks of emergencies at HPFs, justified algorithms and provisions for creating an array of "big data" and modern information systems for analyzing the risk of accidents, as well as preventing and eliminating emergencies.

Keywords: automated monitoring, hazardous production facility, industrial safety, gas transmission system

For citation: Kvasov, I. N. Luchkin, N. A. & Zemenkova, M. Yu. (2022). Automation for monitoring the operating state of hazardous production facilities of the gas transportation system. Oil and Gas Studies, (2), pp. 61-74. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-2-61-74

Введение

В целях обеспечения современных требований промышленной и экологической безопасности ^{1,2,3,4} актуальна необходимость создания и оснащения предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК), эксплуатирующих опасные производственные объекты (ОПО), современными автоматизированными программно-аппаратными комплексами для осуществления производственного мониторинга (контроля) [1–6].

Нами выполнен комплекс исследований, посвященных созданию методологических основ мониторинга событий, нештатных ситуаций и созданию автоматизированных систем и программной реализации [1, 5]. С точки зрения интеллектуальной идентификации является актуальным создание централизованных хранилищ массива данных, получаемых в режиме контроля реального времени от нижестоящих систем и средств автоматизации. Наличие современных инструментов сбора данных позволит систематизировать производственные данные, проводить необходимый анализ, прогнозирование технического состояния технологи-

¹ СА 03-002-05. Стандарт ассоциации. Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов. Общие технические требования. – М., 2005. – 61 с.

² Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ред. от 02.07.2021) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/FZ-ob-ohrane-okruzhajuwej-sredy/>.

³ Федеральный Закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (ред. от 11.06.2021) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tk-expert.ru/lib/455/>.

⁴ Указ Президента Российской Федерации от 06.05.2018 г. № 198 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201805070014>.

ческого оборудования. Перечисленные факторы являются актуальными решениями для предприятий, а также в области промышленной безопасности. Автоматизация мониторинга эксплуатации состояния ОПО⁵ является важнейшим современным инструментом обеспечения промышленной безопасности (ПБ) при эксплуатации техногенных объектов предприятий ТЭК [1, 6–10].

Объект и методы исследования

Объектом исследования являются техногенные объекты газотранспортной системы и системы поддержки принятия решений. Теоретические исследования базировались на применении методов математического моделирования, системного анализа, теории оптимизации, автоматизированного проектирования, принятия решений, кибернетики и современных компьютерных технологий и объектно-ориентированного программирования.

Экспериментальная часть

В ходе работ по усовершенствованию механизмов контроля и снижению рисков возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на ОПО обоснованы алгоритмы и положения для создания массива «больших данных» и современных систем информационного обеспечения анализа риска возникновения аварий, а также предупреждения и ликвидации ЧС на ОПО, что позволяет решить следующие актуальные проблемы: отсутствие единого хранилища (базы данных) в области ПБ; отсутствие объективных данных для анализа риска возникновения аварий.

Таким образом, возникают 4 основных задачи: технологическая идентификация в связи с потенциальными угрозами, формирование баз данных большого объема, создание и реализация методологии обработки данных, их программная реализация [1, 8].

Решение каждой из задач требует проведения комплексных системных исследований и актуализации баз данных в режиме реального времени, а также технологической детализации на конкретных объектах в соответствии со спецификой реализуемых режимов и процессов в условиях эксплуатации [10–15].

Так, например, анализ показал, что условно причины возникновения аварийных ситуаций и отказов, приводящих к снижению механической безопасности, целесообразно разделить следующим образом:

- причины технологического характера, приводящие к отказу основного технологического оборудования вследствие воздействия техногенных факторов;
- брак и дефекты материалов и конструкций, возникшие в процессе их изготовления или доставки оборудования и т. п., способные явиться причиной возможного возгорания, пожара, взрыва и т. п.;
- человеческий фактор, выражающийся в нарушении технологии производства строительно-монтажных работ;
- несоблюдение персоналом эксплуатационных требований в части обслуживания и т. п.;

⁵ Постановление Правительства РФ от 18.12.2020 № 2168 «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/400120660/>.

- внешние воздействия механического характера, приводящие к нарушению целостности, устойчивости и пространственной неизменности объектов и их конструкций (наезды строительной и иной техники на здания и инженерные сооружения);

- естественный износ строительных конструкций в процессе эксплуатации объектов, характеризующийся проявлением коррозионных дефектов и усталостных явлений материала;

- наличие сложных природных условий строительства, характеризующихся такими факторами, как естественная заболоченность и высокая подтопляемость территорий; неравномерно дренированные участки; большие объемы снегопереноса; влияние опасных природных процессов и явлений, вызванных как регулярными (эрозионные, заболачивание территорий вследствие изменения теплового и влажностного режима грунтов под воздействием естественных природных факторов, пучение грунтов и др.), так и временными процессами и явлениями (землетрясения, наводнения, ураганы и т. п.); высокая сейсмическая активность.

К основным потенциально опасным техногенным воздействиям, оказывающим влияние на механическую безопасность проектируемых объектов, относятся:

- взрывы и пожары, приводящие к частичному или полному разрушению технологического оборудования и строительных конструкций;

- внешние механические воздействия (столкновения рабочей техники, наезды и т. д.), приводящие к отказу строительных конструкций (продуктопроводов), нарушению их целостности, потере местной устойчивости, а также следующее за этим нарушение конструктивной схемы работы всей газотранспортной системы, приводящей к потере общей устойчивости сооружения и геометрической изменяемости объектов в целом;

- воздействие агрессивных сред ввиду наличия сложных природно-климатических условий и технологических особенностей процесса эксплуатации, являющихся причинами коррозионных дефектов (абразивный, химический износ, точечная сквозная коррозия и т. д.), изменения прочностных свойств материалов, геометрической целостности строительных элементов и конструкций;

- сложные технологические процессы и режимы эксплуатации оборудования, характеризующиеся наличием высоких нагрузок, в том числе и вибрационных, высоких механических напряжений в элементах и узлах конструкций, реологическими свойствами грунтов оснований, преждевременных усталостных явлений в материалах, конструкциях, оборудовании;

- нарушение технологических параметров работы технологического оборудования и условий эксплуатации, включая отказ средств контроля (КИП и А) и регулирования;

- естественный физический износ;

- техногенное подтопление и тепловые воздействия, являющиеся причиной возможного развития опасных инженерно-геокриологических процессов (сезонное морозное пучение, эрозия, суффозия, заболачивание, подтопление, наледеобразование, карст и др.), и ухудшение деформационно-прочностных свойств грунтов оснований.

При строительстве и эксплуатации техногенных объектов газотранспортной системы^{6,7} возможны следующие потенциальные виды воздействий [3–5]: физическое воздействие на окружающую среду (акустическое и электромагнитное); выбросы от организованных и неорганизованных источников; образование отходов производства и потребления; антропогенное воздействие на компоненты природной среды: атмосферный воздух; водную среду; почвенный покров; растительность и животный мир; а также взаимодействие с геологической средой.

В период строительства объектов ГТС выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух носят разовый характер, так как растянуты во времени и рассредоточены по протяженности участка строительства объекта. При строительстве объектов ГТС, как правило, используется следующая техника и агрегаты: дорожно-строительная техника и автотранспорт; передвижные дизельные электроустановки; сварочные агрегаты и окрасочные аппараты.

Следовательно, источниками выбросов загрязняющих веществ в данном случае будут являться выхлопные трубы транспортных средств, специальной техники и дизельных электрических станций (ДЭС); дымовые трубы котельных установок; передвижные сварочные агрегаты (посты); окрасочные аппараты, расположенные на открытых строительных площадках [2, 3, 7].

Кроме того, в период эксплуатации объектов ГТС атмосферный воздух будет подвергаться химическому и шумовому воздействию.

Прогнозируемое воздействие на атмосферный воздух будет связано с поступлением в атмосферу загрязняющих веществ от основного технологического и вспомогательного оборудования систем, расположенных на территории техногенного объекта: линейная часть магистрального газопровода; компрессорные станции; промбаза компрессорной станции; ГРС и др.

Эксплуатация объектов газотранспортной системы предусматривает непрерывную работу основного технологического оборудования. Основными источниками загрязнения атмосферы при нормальном режиме работы объектов ГТС будут являться выхлопные трубы газоперекачивающих агрегатов компрессорной станции, газотурбинные агрегаты электростанций, а также дымовые трубы котельных установок.

Возможные аварийные и плановые сбросы газа предусмотрены на продувочные свечи. К источникам залповых выбросов могут относиться дыхательные клапаны емкостей и резервуаров при их заполнении, выхлопные трубы ДЭС при проведении профилактических пусков. Источники выбросов загрязняющих веществ пожарных депо, теплых открытых стоянок, ремонтно-механических мастерских и другого вспомогательного оборудования можно отнести к источникам периодического воздействия на атмосферный воздух, так как оборудование такого рода эксплуатируется по мере необходимости.

Необходимо отметить, что к основным контролируемым технологическим параметрам компрессорной станции, как правило, относятся следующие: расход топливного газа; температура продуктов сгорания в точке их штатного измерения; атмосферное давление воздуха; температура атмосферного воздуха перед компрессором; абсолютное давление воздуха за компрессором; наработка агрегата; суммарный расход топливного газа.

⁶ Федеральный закон от 10.01.2002... – Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/FZ-ob-ohrane-okruzhajujewej-sredy/>.

⁷ Федеральный закон от 04.05.1999... – Режим доступа: <https://tk-expert.ru/lib/455/>.

Результаты

По итогам завершения исследования конечным результатом является разработка методологического, алгоритмического и программного обеспечения, обеспечивающего бесперебойный контроль в режиме реального времени состояния эксплуатации ОПО газотранспортной системы.

Процессы подготовки газа, а также его дальнейшая транспортировка относятся к опасным производственным процессам, так как характеризуются наличием высоких давлений и больших масс взрывопожароопасных веществ. В укрупненном виде среди эксплуатируемых техногенных объектов ГТС можно выделить следующие наиболее опасные технологические участки: линейная часть магистральных газопроводов; компрессорные станции; ГРС и др. Тогда к основным возможным причинам отказов и осложнений, способствующих возникновению аварийных ситуаций, относятся следующие⁸:

- образование гидратов на всем пути транспорта газа;
- коррозия трубопроводов и газокompressорного оборудования;
- порыв газопроводов по сварному стыку или телу трубы;
- свищи или трещины в результате коррозии, эрозии, превышения давления или вследствие заводского брака;
- отказы контрольно-измерительных приборов и средств автоматического регулирования;
- человеческий фактор (ошибки обслуживающего персонала);
- загазованность технологических помещений и связанная с этим повышенная взрыво- и пожароопасность;
- взрывы и пожары;
- выход из строя систем энерго- и водоснабжения.

Мониторинг аварийных и предаварийных ситуаций включает в себя комплекс организационно-технических мероприятий по оперативному внеплановому контролю состояния компонентов техногенных объектов, природной среды, количественной и качественной оценок последствий аварии. Количественная и качественная оценки последствий аварий включают расчеты параметров аварии, определение объемов и характера воздействия на компоненты природной среды, направление и характер распространения загрязнения. Оперативный внеплановый контроль проводится исходя из особенностей конкретной нештатной ситуации. Состав параметров, периодичность и местоположение пунктов контроля определяются с учетом характера и масштаба аварии.

При возникновении аварийных ситуаций негативными воздействиями на окружающую среду могут являться сверхнормативное загрязнение атмосферного воздуха выбросами природного газа или продуктов горения; механическое воздействие, связанное с разрывом и разлетом фрагментов разрушенных частей трубопроводов и технологических элементов линейной части.

При проведении мониторинга аварийных ситуаций используются стационарные и мобильные средства контроля состояния компонентов техногенных объектов и природной среды.

С учетом изложенного разработан алгоритм мониторинга при возникновении нештатных или аварийных ситуаций на объектах ГТС, который представлен на рисунке 1.

⁸ Федеральный закон от 10.01.2002... – Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/FZ-ob-ohrane-okruzhajuwej-sredy/>.

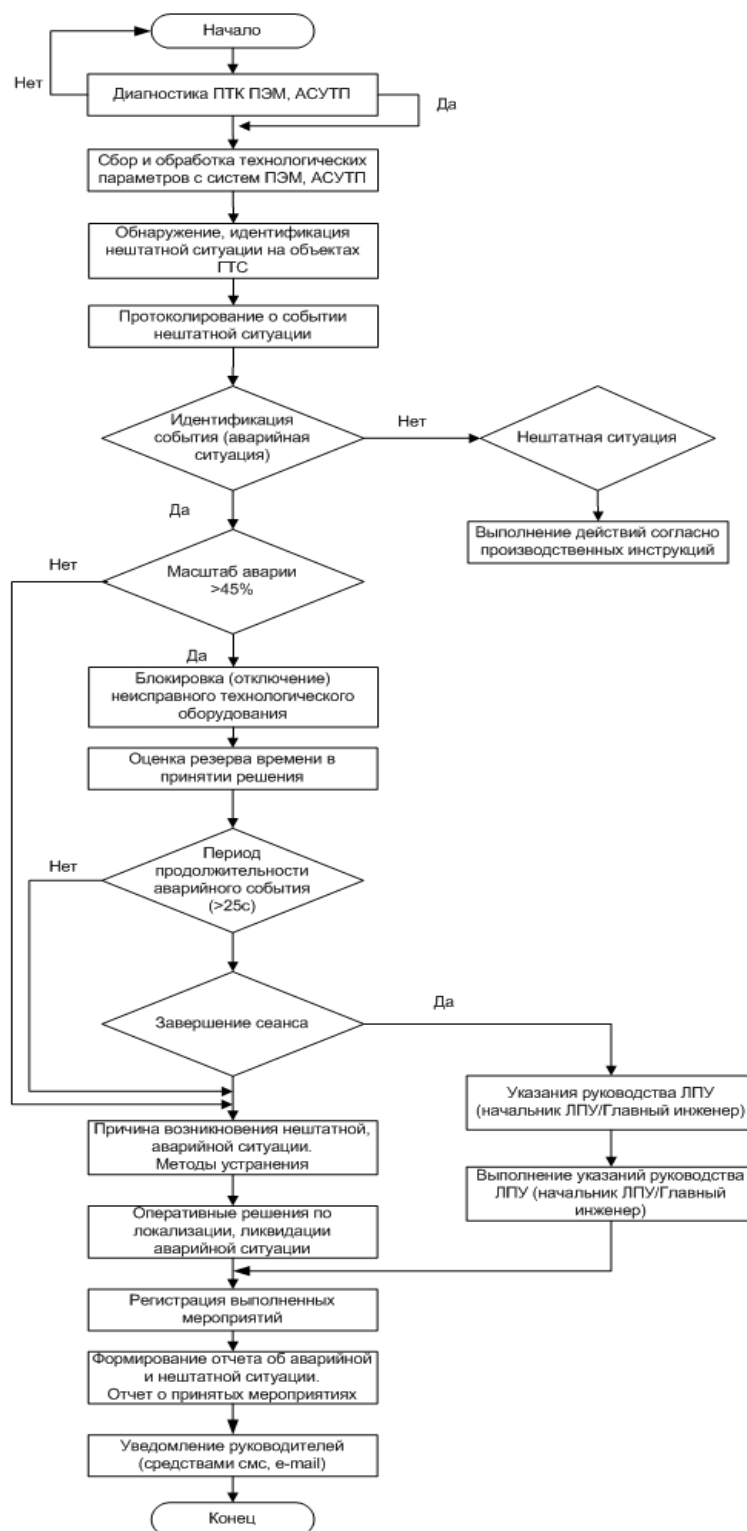


Рис. 1. Алгоритм мониторинга определения нештатных ситуаций

Алгоритм основан на общей концепции работы газотранспортной системы с применением формализованных на уровне моделей и алгоритмов основных элементов при автоматизации мониторинга опасных ситуаций и обеспечении экологической и промышленной безопасности. К особенностям алгоритма можно отнести его неизменность в любой нештатной или аварийной ситуации, возникшей на объектах ГТС, то есть заложенные в алгоритме действия остаются неизменными. В алгоритме имеется возможность распознавания события (либо это нештатная или аварийная ситуация), а также определение фактора ее опасности и выделенного лимита времени на поиск решения выхода из предаварийной ситуации. Принимается во внимание, что указанные характеристики нештатной и аварийной ситуации качественно идентифицируются специалистами производственно-диспетчерских подразделений.

К входной информации при функционировании алгоритма относятся технологические параметры, которые поступают в режиме реального времени от нижестоящих систем автоматизации и других систем локальной автоматики на АРМ диспетчера, где уже имеется возможность формирования консолидированной аналитической отчетности для организации дальнейшей работы. Диспетчерский пункт после обнаружения нештатной ситуации фиксирует информацию о ней (характер, вид, масштаб нештатной ситуации, а также продолжительность с момента ее возникновения).

Следующим этапом необходимо определить, например, на основе обработанных технологических параметров, является ли данная ситуация предусмотренной (стандартной), то есть относящейся к числу прогнозируемых ситуаций, возникновение которых можно предвидеть из закономерных условий и причин их возникновения. При выяснении, что данная нештатная ситуация имеет стандартные алгоритмы, действовать нужно согласно производственным и должностным инструкциям, технологическим регламентам по действиям работников производственно-диспетчерских служб.

Если данное событие является аварийной ситуацией, тогда в этом случае приоритет отдается обеспечению безопасности жизни работников в условиях обеспечения экологической и промышленной безопасности. В данном случае диспетчер в соответствии с регламентом должен обеспечить отключение неисправного технологического и энергетического оборудования, сообщить соответствующим службам о необходимости приостановить выполнение каких-либо проводимых в настоящее время работ. Важно отметить, что алгоритм учитывает выделенное время на идентификацию нештатной ситуации, в связи с чем диспетчер должен владеть полнотой и достоверностью технологических параметров, поступающих на вышестоящий уровень — информационно-управляющую систему (ИУС ОПО ГТС).

ИУС ОПО ГТС газотранспортного предприятия осуществляет аккумуляцию, передачу, обработку и анализ больших объемов разнородной технологической информации, получаемой от различных многочисленных распределенных источников (пунктов) данных. Это прежде всего связано с необходимостью построения модели такой системы, которая бы учитывала всю совокупность входящих в ИУС ОПО ГТС подсистем (как внутренние, так и внешние связи). Стоит отметить, что адекватность указанной модели решаемым поставленным задачам и осуществляемым функциям

ИУС ОПО ГТС напрямую зависит от того, насколько обоснованно выбрана методика ее построения.

В данном исследовании в основу разработки методики построения ИУС ОПО ГТС положена методология структурного анализа и проектирования бизнес-процессов SADT (Structured Analysis and Design Technique). Технология SADT нашла свое применение в области описания большого количества сложных искусственных систем из широкого спектра отраслей промышленности, охватывающих различные проблемные области.

Успешность и разнообразность применения данной методологии в разных отраслях промышленности обеспечивается прежде всего особенностью SADT, которая заключается в построении полных аналитических моделей на всей стадии разработки проекта для создания и описания систем, основанных на концепции системного моделирования, что особенно важно при построении ИУС ОПО ГТС [7].

На рисунке 2 представлена простейшая SADT-диаграмма, на которой ИУС ОПО ГТС представлена в виде простейшей комбинации блоков и дуг, изображающих интерфейсы с функциями системы. Функциональный блок представляет собой функцию системы, которая преобразует входные объекты в выходные данные, то есть полученный результат операции. Дуги представляют множество объектов (информация или действия, которые образуют связи между функциональными блоками). Выходные данные одной функции могут служить входами, а также управлением или исполнителями другой функции.

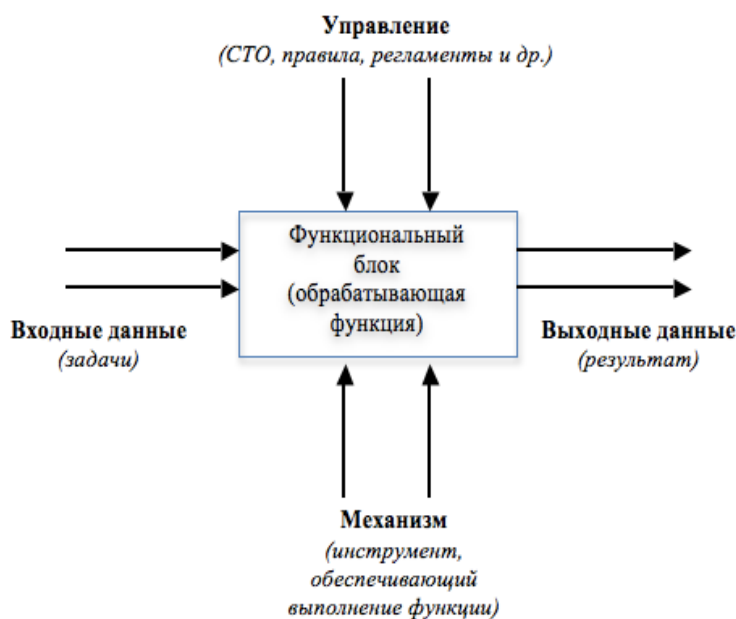


Рис. 2. Типовой пример блока SADT-диаграммы

Предлагаемая по итогам исследования модель построения ИУС ОПО ГТС представлена на рисунке 3.

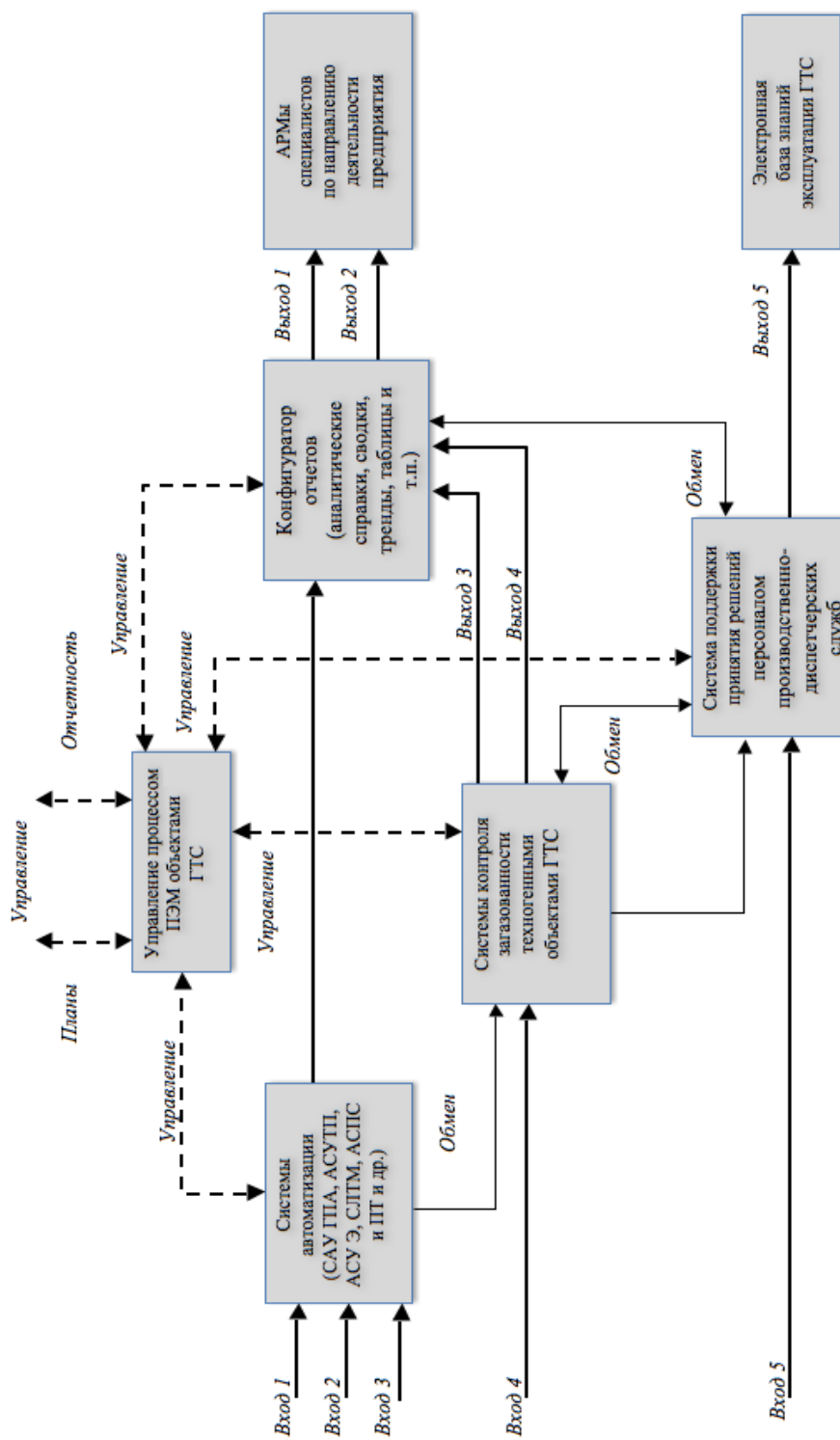


Рис. 3. SADT-диаграмма функций ИУС ОПО ГТС

Для описания ИУС ГТМ применяются иерархические диаграммы, которые содержат как функциональные блоки, так и интерфейсные дуги. На представленной диаграмме видно, что вышестоящий уровень управления ИУС ОПО ГТС выведен в отдельный функциональный блок, откуда осуществляется и организуется контроль за ведением технологического процесса транспортировки природного газа и соблюдения обеспечения экологической и промышленной безопасности. В данном случае входными данными служат технологические параметры систем контроля загазованности, автоматической системы пожарной сигнализации, пожаротушения и автоматизированных систем управления технологическими процессами. В данной методике включен функциональный блок системы поддержки принятия диспетчерских решений. В функциональные операции данного блока входят отработка нештатных, предаварийных и аварийных ситуаций, моделирование режима работы газотранспортной системы и оценка возможных рисков. Данный функциональный блок имеет возможность накопления технологических данных, то есть с учетом максимально возможных неблагоприятных событий, связанных с эксплуатацией ОПО ГТС, расширяется электронная база знаний.

Особое место в предлагаемой модели занимает блок «Конфигуратор отчетов», который предоставляет возможность формировать различные аналитические отчеты в режиме реального времени, а также возможность работать с ретроспективными данными. Наличие инструментальных средств позволяет составлять запросы с учетом ограничения доступа для пользователей системы. Удобной функцией при формировании отчетов является применение web-технологий, которые позволяют просматривать отчетность в интернет-браузере.

Выводы

Результаты системного анализа показали, что создание систем мониторинга опасных производственных газотранспортных объектов требует тщательной проработки на всех этапах обоснования: математического, технологического, кибернетического. В результате исследования определены и отмечены наиболее значимые особенности технологического процесса транспортировки природного газа по магистральным газопроводам. Определены особенности антропогенного воздействия и последствий изменения состояния различных компонентов природной среды при эксплуатации техногенных объектов газотранспортной системы. Показано, что для обеспечения промышленной безопасности в зоне возможного влияния объектов газотранспортной системы должен осуществляться непрерывный мониторинг состояния эксплуатации ОПО ГТС.

Разработан алгоритм автоматизации мониторинга при возникновении нештатных или аварийных ситуаций на объектах ГТС, позволяющий определить возникшее событие с дальнейшей его идентификацией и принять необходимые организационные меры по обеспечению промышленной и экологической безопасности. В том числе разработано методологическое обеспечение при создании модели ИУС ОПО ГТС.

Предложенная модель учитывает функциональные связи (информационные потоки), входящие в модель, обеспечивающие непрерывный

(круглосуточный) контроль в режиме реального времени за состоянием ОПО при эксплуатации технологического оборудования.

Список источников

1. Лучкин, Н. А. Проектирование системы автоматизированного мониторинга технологических процессов и диспетчерского управления объектами газотранспортной системы / Н. А. Лучкин, А. Г. Янишевская, Ж. В. Голикова. – DOI 10.25206/2310-9793-2018-6-2-37-43. – Текст : непосредственный // Динамика систем, механизмов и машин. – 2018. – Т. 6, № 2. – С. 37–43.
2. Махутов, Н. А. Задачи разработки и реализации системы управления промышленной безопасностью предприятия при эксплуатации технических устройств / Н. А. Махутов, А. П. Черепанов, М. В. Лисанов. – DOI 10.24000/0409-2961-2021-2-15-19. – Текст : непосредственный // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 2. – С. 15–19.
3. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы промышленной безопасности / Н. В. Абросимов, О. Е. Аксютин, А. В. Алешин [и др.]. – Москва : Знание, 2019. – 824 с. – Текст : непосредственный.
4. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность средств хранения и транспорта энергоресурсов / О. Е. Аксютин, А. А. Александров, А. В. Алешин [и др.]. – Москва : Знание, 2019. – 928 с. – Текст : непосредственный.
5. Земенкова, М. Ю. Методологическое обеспечение мониторинга безопасности объектов транспорта и хранения нефти и газа на основе интеллектуальных экспертных систем : специальность 05.26.02 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (нефтегазовая промышленность (технические науки))» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Земенкова Мария Юрьевна ; Тюменский индустриальный университет. – Тюмень, 2021. – 443 с. – Текст : непосредственный.
6. Прогнозирование экологических рисков при техногенных авариях на магистральных и технологических нефтепроводах / И. Н. Квасов, Е. В. Шендалева, О. В. Штенгауэр, М. Ю. Земенкова. – DOI 10.31660/0445-0108-2019-6-103-117. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2019. – № 6. – С. 103–117.
7. Марка, Д. А. Методология структурного анализа и проектирования / Д. А. Марка, К. Л. МакГоуэн ; перевод с английского, предисл. Д. Т. Росса. – Москва : Фирма «Мета Технология», 1993. – 240 с. – Перевод изд.: SADT: Structured Analysis and Design Technique / David Marca, Clement L. McGowan. New York, 1988. – Текст : непосредственный.
8. Земенкова, М. Ю. Интеллектуальное управление состоянием систем транспорта углеводородов с использованием нейросетевой идентификации / М. Ю. Земенкова, Е. Л. Чижевская, Ю. Д. Земенков. – Текст : непосредственный // Трубопроводный транспорт : теория и практика. – 2021. – № 1 (77). – С. 50–55.
9. Васильев, Г. Г. Безопасность технологических процессов в трубопроводном строительстве : учебное пособие / Г. Г. Васильев, А. М. Ревазов, И. А. Леонович. – Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2019. – 108 с. – Текст : непосредственный.
10. Земенкова, М. Ю. Методы снижения технологических и экологических рисков при транспорте и хранении углеводородов / М. Ю. Земенкова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тюменский индустриальный университет. – Тюмень : ТИУ, 2019. – 397 с. – Текст : непосредственный.
11. Ревазов, А. М. Управление риском возникновения аварийных ситуаций на линейной части магистральных газопроводов / А. М. Ревазов, С. Т. Алекперова. – Текст : непосредственный // Газовая промышленность. – 2015. – № 12 (731). – С. 50–53.
12. Николаев, А. К. Экспериментальные исследования определения расхода газа при аварийной утечке на линейном участке газопровода / А. К. Николаев, В. Г. Фетисов, Ю. В. Лыков. – Текст : непосредственный // Трубопроводный транспорт : теория и практика. – 2017. – № 2 (60). – С. 14–17.

13. Zemenkova, M. Yu. Intellectual Control of Dangerous States of the Facilities of Main Hydrocarbon Transport Systems in Adaptive Expert Systems / M. Yu. Zemenkova. DOI 10.1088/1755-1315/272/3/032087. – Text : electronic // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 272, Issue 3. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/272/3/032087>.
14. Zemenkov, Yu. D. Expert Systems of Multivariable Predictive Control of Oil and Gas Facilities Reliability / Yu. D. Zemenkov, V. V. Shalay, M. Yu. Zemenkova. – DOI 10.1016/j.proeng.2015.07.271. – Direct text // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 113. – P. 312–315.
15. Mathematical modeling of non-stationary gas flow in gas pipeline / V. G. Fetisov, A. K. Nikolaev, Yu. V. Lykov, L. N. Duchnevich. – DOI 10.1088/1757-899X/327/2/022034. – Text : electronic // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327, Issue 2. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/327/2/022034/meta>.

References

1. Luchkin, N. A., Yanishevskaya, A. G., & Golikova, Zh. V. (2018). Designing of automated monitoring system technological processes and dispatch control of objects of the gas transport system. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*, 6(2), pp. 37–43. (In Russian). DOI: 10.25206/2310-9793-2018-6-2-37-43
2. Makhutov, N. A., Cherepanov, A. P., & Lisanov, M. V. (2021). Tasks of the development and implementation of enterprise industrial safety management system when operating technical devices. *Occupational Safety in Industry*, (2), pp. 15–19. (In Russian). DOI: 10.24000/0409-2961-2021-2-15-19
3. Abrosimov, N. V., Aksyutin, O. E., Aleshin, A. V., Aleshin, N. P., Akhmetkhanov, R. S., Barishpolets, V. A.,... Yakovlev, D. A. (2019). *Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Nauchnye osnovy promyshlennoy bezopasnosti*. Moscow, Znanie Publ., 824 p. (In Russian).
4. Aksyutin, O. E., Aleksandrov, A. A., Aleshin, A. V., Aralov, O. V., Akhmetkhanov, R. S., Bobrov, Yu. V.,... Yudina, O. N. (2019). *Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Bezopasnost' sredstv khraneniya i transporta energoresursov*. Moscow, Znanie Publ., 928 p. (In Russian).
5. Zemenkova, M. Yu. (2021). *Metodologicheskoe obespechenie monitoringa bezopasnosti ob'ektov transporta i khraneniya nefi i gaza na osnove intellektual'nykh ekspertnykh sistem*. Diss. ... dokt. tekhn. nauk. Tyumen, 443 p. (In Russian).
6. Kvasov, I. N., Shendaleva, E. V., Shtengauer, O. V., & Zemenkova, M. Yu. (2019). Prognosis evaluation of environmental risks in case of accident on main and technological oil pipelines. *Oil and Gas Studies*, (6), pp. 103–117. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2019-6-103-117
7. Mark, D. A., & McGowan, C. L. (1988). *SADT: Structured Analysis and Design Technique*. New York, McGraw-Hill, 392 p. (In English).
8. Zemenkova, M. Yu., Chizhevskaya, E. L., & Zemenkov, Yu. D. (2021). Intelligent control of the state of hydrocarbon transport systems using neural network identification. *Pipeline transport: theory and practice*, (1(77)), pp. 50–55. (In Russian).
9. Vasiliev, G. G., Revazov, A. M., & Leonovich, I. A. (2019). *Bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov v truboprovodnom stroitel'stve*. Moscow, Gubkin University Publ., 108 p. (In Russian).
10. Zemenkova, M. Yu. (2019). *Metody snizheniya tekhnologicheskikh i ekologicheskikh riskov pri transporte i khranении uglevodorodov*. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 397 p. (In Russian).
11. Revazov, A. M., & Alekperova, S. T. (2015). Management of the risk of emergencies on the linear part of the main gas pipelines. *Gas industry*, (12(731)), pp. 50–53. (In Russian).
12. Nikolaev, A. K., Fetisov, V. G., & Lykov, Yu. V. (2017). Application investigation of gas flotation metering during emergency leak at a segment of line pipe. *Pipeline transport: theory and practice*, (2(60)), pp. 14–17. (In Russian).
13. Zemenkova, M. Yu. (2019). Intellectual Control of Dangerous States of the Facilities of Main Hydrocarbon Transport Systems in Adaptive Expert Systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 272(3). (In English). DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032087

14. Zemenkov, Yu. D., Shalay, V. V., & Zemenkova, M. Yu. (2015). Expert Systems of Multivariable Predictive Control of Oil and Gas Facilities Reliability. *Procedia Engineering*, 113, pp. 312-315. (In English). DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.271

15. Fetisov, V. G., Nikolaev, A. K., Lykov, Yu. V., & Duchnevich, L. N. (2018). Mathematical modeling of non-stationary gas flow in gas pipeline. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 327(2), (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/327/2/022034

Информация об авторах

Квасов Игорь Николаевич, кандидат экономических наук, профессор кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии, Омский государственный технический университет, г. Омск

Лучкин Николай Анатольевич, соискатель, Омский государственный технический университет, г. Омск

Земenkova Мария Юрьевна, доктор технических наук, доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, zemenkovamj@tyuiu.ru

Information about the authors

Igor N. Kvasov, Candidate of Economics, Professor at the Department of Oil and Gas Engineering, Standardization and Metrology, Omsk State Technical University

Nikolay A. Luchkin, Applicant, Omsk State Technical University

Maria Yu. Zemenkova, Doctor of Engineering, Associate Professor at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen, zemenkovamj@tyuiu.ru

Статья поступила в редакцию 30.11.2021; одобрена после рецензирования 10.02.2022; принята к публикации 15.02.2022.

The article was submitted 30.11.2021; approved after reviewing 10.02.2022; accepted for publication 15.02.2022.